

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-019918

(43)Date of publication of application : 23.01.1992

(51)Int.Cl.

H01B 13/00
B21F 19/00
C22F 1/00
// C22C 27/02
C23C 2/38
H01B 12/10

(21)Application number : 02-122441

(71)Applicant : HITACHI CABLE LTD
HITACHI LTD
NATL RES INST FOR METALS

(22)Date of filing : 11.05.1990

(72)Inventor : KAMATA KUNITAKA
TADA NAOFUMI
WADAYAMA YOSHIHIDE
INOUE TADASHI

(54) NB3AL-TYPE SUPERCONDUCTOR WIRE MANUFACTURING METHOD AND ITS
APPARATUS

(57)Abstract:

PURPOSE: To manufacture an Nb3Al-type superconductor wire having high critical current density in a magnetic field as high as 20T in intensity level and high stability by immersing a composite multicore wire after drawing process in a molten metal to solidify the molten metal on the circumference of the composite multicore wire and forming a stabilized metal on the outer circumference of the superconductor wire.

CONSTITUTION: A composite multicore wire consisting of a large number of Al alloy core wires and a Nb matrix is immersed in a molten metal, especially copper, a copper alloy, silver, a silver alloy, etc., at $\geq 1200^{\circ}\text{C}$ to coat the outer circumference of the Nb3Al-type superconductor wire with a stabilized metal with high adhesion strength. After quenching the wire after coating with the stabilized metal, heat treatment at $700\text{--}950^{\circ}\text{C}$ is carried out. At that time, to avoid a neighboring effect, the diameter of the core is set to be $\geq 0.1\mu\text{m}$. Also, to stabilize the wire electromagnetically, the diameter of the core is set to be $\leq 10\mu\text{m}$.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

⑫ 公開特許公報(A) 平4-19918

⑤ Int. Cl.⁵H 01 B 13/00
B 21 F 19/00
C 22 F 1/00

識別記号

5 6 5 Z
G
D

庁内整理番号

8936-5G
7217-4E
8015-4K※

④ 公開 平成4年(1992)1月23日

審査請求 未請求 請求項の数 7 (全8頁)

⑭ 発明の名称 Nb₃A 1系超電導線材の製造方法並びに製造装置

⑰ 特 願 平2-122441

⑱ 出 願 平2(1990)5月11日

⑲ 発 明 者 鎌 田 園 尚 東京都千代田区丸の内2丁目1番2号 日立電線株式会社
内⑲ 発 明 者 多 田 直 文 茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社日立製作所日立研
究所内⑲ 発 明 者 和 田 山 芳 英 茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社日立製作所日立研
究所内

⑲ 出 願 人 日立電線株式会社 東京都千代田区丸の内2丁目1番2号

⑲ 出 願 人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

⑲ 出 願 人 科学技術庁金属材料技 東京都目黒区中目黒2丁目3番12号
術研究所長

最終頁に続く

明 細 書

1. 発明の名称 Nb₃A 1系超電導線材の製造
方法並びに製造装置

2. 特許請求の範囲

(1) 多数本のA 1あるいはA 1合金心材とNb
マトリックスより成る複合多心線を冷間加工
した後、熱処理してなる超電導線材の製造方
法において、冷間加工後の該複合多心線を溶
融金属中に浸漬することにより、熔融金属を
該複合多心線の周囲で凝固させ、超電導線材
の外周部に安定化金属を形成することを特徴
とするNb₃A 1系超電導線材の製造方法。(2) 請求項1記載において、A 1あるいはA 1
合金心材の直径あるいは厚さが0.1~10
μmであることを特徴とするNb₃A 1系超
電導線材の製造方法。(3) 請求項1記載において、1:200℃以上
の熔融金属中に浸漬後急冷し、700~
950℃の温度で追加熱処理することを特徴
とするNb₃A 1系超電導線材の製造方法。(4) 請求項1記載において、熔融金属は銅ある
いは銅合金、銀あるいは銀合金より成ること
を特徴とするNb₃A 1系超電導線材の製造
方法。(5) 請求項1記載において、複合多心線の熔融
金属中への浸漬は、一定温度に保持された溶
融金属中で0.1気圧以上の不活性ガス雰囲気
で行なうことを特徴とするNb₃A 1系超
電導線材の製造方法。(6) 請求項1記載において、外周部に安定化金
属が形成された該複合多心線を多数本集合さ
せて一体化あるいは撚線化させたことを特徴
とするNb₃A 1系超電導線材の製造方法。(7) 不活性ガス供給手段と真空排気手段とを備
えた密閉室中に、複合多心線巻付け用スプー
ルと複合多心線巻取り用スプूलと複合多心
線を誘導する誘導ロールを設け、該誘導ロー
ル間に金属熔融槽と冷却槽とを連続して配備
したことを特徴とする請求項1、3、4又は
5のいずれか1項記載のNb₃A 1系超電導

線材の製造方法に用いる装置。

3. 発明の詳細な説明

[産業上の利用分野]

本発明は、Nb₃A₁系超電導線材に係り、特に20テスラ級の高磁界で高電流密度を有し、安定化材で被覆された高安定なNb₃A₁系超電導線材の製造方法並びに製造装置に関する。

[従来の技術]

Nb₃A₁系超電導線材については、アブライド・フィジックス・レターズ52(20) 1988年5月16日発行、第1724頁から第1725頁(Applied Physics Letters, Vol.52, No.20(1988.5.16) pp1724~1725)において論じられているように、多数本のA₁合金心材とNbマトリックスを複合加工法により極細多心線化し、750~950℃で熱処理してNb₃A₁超電導線材としていた。

また、特開昭62-29017号公報に記載の如く、NbとA₁の粉末を混合、加工後、電子ビーム照射し、500~1,000℃で熱処理して

してなる超電導線材の製造方法において、冷間加工後の該複合多心線を熔融金属中に浸漬することにより、熔融金属を該複合多心線の周囲で凝固させ、超電導線材の外周部に安定化金属を形成することを特徴とするNb₃A₁系超電導線材の製造方法としたものである。上記において、A₁あるいはA₁合金心材の直径あるいは厚みが0.1~10μmであり、熔融金属は銅あるいは銅合金、銀あるいは銀合金よりなる。

本願発明において、Nb₃A₁系超電導線材の外周部に安定化金属を被覆するために、多数本のA₁合金心材とNbマトリックスよりなる複合多心線を、1200℃以上の熔融金属、特に銅あるいは銅合金、銀あるいは銀合金中に浸漬、被覆後急冷した後、700~950℃の温度で熱処理するのがよい。

また、生成したNb₃A₁系超電導線材の高磁界下での臨界電流密度を高めるために、多数本のA₁合金心材の間隔を、近接効果を生じない範囲内で細線化加工し、1,200℃以上の温度に加

Nb₃A₁系超電導線材としていた。

[発明が解決しようとする課題]

上記従来技術のうち複合加工法によるものは、CuやA₁など安定化金属と複合化することができず、また、A₁合金心材を0.1μm以下と超細線化しないと化学量論組成のNb₃A₁が生成しないこと、生成したNb₃A₁極細多心超電導線材の臨界温度、臨界磁界は低く、20テスラ級の高磁界では極端に臨界電流密度が低下する問題があった。また、電子ビーム照射法によるものは、電磁氣的に安定な極細多心線構造にすることができない問題があった。

本発明の目的は、20テスラ級の高磁界で高電流密度を有し、安定化材で被覆された高安定なNb₃A₁系極細多心超電導線材の製造方法並びに製造装置を提供することにある。

[課題を解決するための手段]

上記目的を達成するために、本発明では、多数本のA₁あるいはA₁合金心材とNbマトリックスより成る複合多心線を冷間加工した後、熱処理

熱急冷した後、700~950℃の温度で熱処理する。

そして、大電流容量で電磁氣的安定性のよいNb₃A₁系超電導線材とするために、外周部に安定化金属が被覆されたA₁合金心材/Nbマトリックス複合多心線をさらに多数本集合して一本化あるいは燃線化したものである。

さらに、本発明の方法で経済的にかつ精度よくNb₃A₁系超電導線材の長尺線を製造するために、多数本のA₁合金心材とNbマトリックスよりなる複合多心長尺線を一定温度に保持された熔融金属中に浸漬する。その際、0.1気圧以上の不活性ガス雰囲気で行なうものである。

また、上記他の目的を達成するために、本発明では、前記のNb₃A₁系超電導線材の製造方法に用いる装置として、不活性ガス供給手段と真空排気手段とを備えた密閉室中に、複合多心線巻付け用スプールと複合多心線巻取り用スプールと複合多心線を誘導する誘導ロールを設け、該誘導ロール間に金属溶融槽と冷却槽とを連続して配備し

た装置としたものである。

〔作用〕

本発明は、多数本のA合金心材とNbマトリックスよりなる複合多心線を、1,200℃以上の溶融金属特に銅あるいは銅合金、銀あるいは銀合金中に浸漬することにより、Nb-A系超電導線材の外周部に安定化金属を密着性よく被覆することができる。これは、化学量論組成のNb-Aを形成させるに必要な加熱処理を、溶融した安定化金属中に行ない、Nb-Aを形成する熱処理と安定化金属の被覆を同時に行なわせるものである。1,200℃以上の溶融したCuには、部分的にマトリックスのNbが溶出するが、予めCu中にNbを固溶させておけば、マトリックスよりのNbの溶出は防止できる。Agの場合には、1,400～1,700℃でNbを固溶せず、実質的にマトリックスのNbの溶出はない。一方、銅あるいは銅合金、銀あるいは銀合金は、高温で蒸気圧が高くなり蒸発し易くなるが、これは、0.1気圧以上の圧力を有する不活

構造のNbに富むNb-A過飽和固溶体を、常温まで持ち来すことができる。このNb-A過飽和固溶体は、加工性があるので、場合によっては塑性加工した後、700～950℃の温度に加熱することにより、微細な結晶粒のNb-A相を析出させ、臨界電流密度の高いNb-A超電導線材とすることができる。

本発明は、従来のNb-A極細多心線では、多数本のNb-A心材間で電磁氣的に結合している近接効果が作用している点に着眼し、近接効果を生じない範囲内でA合金心材間の間隔を小さくし、前記高温熱処理、急冷処理、低温熱処理を組合せることによって、高臨界温度、高臨界磁界のNb-A超電導線材とすることができる。近接効果を生じ始める心材直径は、Nb-A極細多心線材の場合0.1μm以下であり、本発明の製造方法を用いれば心材直径を0.1μmより大きくすることによって、本発明の目的は達成できる。また、極細多心線として電磁氣的に安定化をはかるため、心材直径は少なくとも10μm以

性ガス雰囲気とすることにより、銅あるいは銅合金、銀あるいは銀合金の蒸発損失を抑制することができる。なお、溶融した安定化金属とNbマトリックスとの反応が、どうしても避けられない場合は、Nbマトリックスの表面に、予めNbおよび溶融した安定化金属と反応しないセラミックスやNb以外の高融点金属を、被覆しておく方法も有効である。いずれにしても、上記の方法で安定化金属を被覆後急冷した後、700～950℃の温度で熱処理することにより、安定化金属で被覆された高性能なNb-A系超電導線材を得ることができる。例えば被覆された安定化金属がCu-Nbであっても、700～950℃ではCu中にNbは殆ど固溶しないため、Cu-Nb合金層よりNbが晶出し、被覆層は電気比抵抗の小さいCuとなり安定化材としての機能を確保することができる。

また、本方法は化学量論組成よりNbに富む複合多心線構造にした場合、1,200℃以上の温度に加熱して急冷することにより、体心立方結晶

下にする必要がある。

本発明は、外周部に安定化金属が被覆されたA合金心材/Nbマトリックス複合多心線を、さらに多数本集合して一体化あるいは撚線化することにより、大電流容量で電磁氣的安定性のよいNb-A系超電導線材とすることができる。これは、A合金心材/Nbマトリックス複合多心線の外周部に安定化金属が被覆されたことにより、はじめて可能となった線材の構成であり、従来技術ではこのような方法をとることはできず、電磁氣的安定性に劣るNb-A系超電導線材となる。

〔実施例〕

以下、本発明の実施例を図面により従来例と比較して説明するが、本発明はこれらに限定されない。

第1図は本発明の製造方法によるNb-A系極細多心線材の製造工程を、第2図は従来の製造方法によるNb-A系極細多心線材の製造工程を示す。A合金心材とNb管を複合化し、細線化加工を行なって複合単心線を製造する工程、多

数本の複合単心線とNb管を再複合化し、細線化加工を行なって複合多心線を製造する工程までは、従来の製造方法と同じである。従来の方法では、さらに多数本の複合多心線とNb管を再々複合化し、細線化加工を行なう工程を繰返し行い、Al合金心材の直径がほぼ0.1 μ mになるまで超細線化加工を行なう必要があるのに対し、本発明の方法では、Al合金心材の直径が数 μ mでも十分な性能が得られる。その理由として、細線化加工に続く1,200℃以上の高温加熱処理を溶融した安定化金属中で行ない、複合多心線の外周部に安定化金属を被覆する工程と同時に進行することにより、化学量論組成のNb₃AlあるいはNb₃AlよりNbに富む過飽和固溶体を生成させ、急冷することにより高温で安定な相を常温まで持ち来すことができるからである。さらには、急冷した複合多心線がNb₃AlよりNbに富む過飽和固溶体の場合には、さらに細線化加工、あるいは多数本の複合線を集合して一体化加工、熱線化加工を行なうことができる。そして、最終寸

極細多心超電導線材を製造した。

次にこの線材よりサンプルを切り出し、抵抗法で温度を変えながら臨界温度並びに臨界温度直上におけるマトリックスの電気抵抗を測定した。その結果、臨界温度は中点の温度で17.9K、マトリックスの比抵抗は $1.6 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ が得られた。従来のNb₃Al極細多心線材では、臨界温度が15.6K、マトリックスの比抵抗は $5.0 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ であり、臨界温度で2.3K、マトリックスの比抵抗で約30分の1に改良することが出来た。また、この線材よりサンプルを切り出し、4.2Kで印加磁界を変化させて臨界電流を測定した。第3図にその測定結果を示す。臨界電流値は、1 μ V/ cm の電圧が発生した点の電流値とし、臨界電流密度は安定化材を除く断面積当りで算出したものである。第3図の1は本実施例の磁界-臨界電流密度特性、4は従来の複合加工法によるNb₃Al極細多心線材の磁界-臨界電流密度特性である。この図から明らかなように、本発明の方法は、10T以上の全磁界領域で従来

法において、700~950℃に加熱し、

Nb₃Al結晶の再配列、微細化を行ない高磁界中で高電流密度を有し、安定化金属で被覆された電磁氣的安定性のよいNb₃Al系極細多心超電導線材を得ることができる。

実施例1

直径6.5mmのAl-5原子%Mg合金棒に外径11.0mm、内径7.0mmのNb管を被せ、外径1.0mmまで室温で伸線加工を行ない複合単心線を製造した。次にこの複合単心線331本を束ねて外径25.5mm、内径21.5mmのNb管に挿入し、外径0.2mmまで室温で伸線加工を行ない複合多心線を製造した。この時、Al-5原子%Mg心材直径は約5 μ mである。次に、この複合多心線を1気圧のArガス雰囲気中で1,700℃に加熱、溶融された銀浴中に10分間浸漬し、約50 μ m厚さの銀を被覆した後、室温まで急冷した。その後、真空中で850℃ \times 50hの加熱を行なって銀被覆されたNb₃Al

法に比べて臨界電流密度が高く、特に15~16T以上の高磁界域で高い臨界電流密度を有することがわかる。例えば、20Tの磁界中では、従来法に比べて約100倍の臨界電流密度を有する高磁界用Nb₃Al極細多心線材である。

実施例2

実施例1と同様に複合単心線、複合多心線を製作し、外径1mm、Al-5原子%Mg合金の心材径約1 μ m、心材本数109,561本のNbマトリックス複合多心線を得た。次にこの複合多心線を1000torrのArガス雰囲気中で1400℃に加熱、溶融された(Cu-10原子%Nb)浴中に10分間浸漬し、約0.1mm厚さのCu-Nb合金を被覆した後、室温まで急冷した。その後、真空中で850℃ \times 50hの加熱を行なって銅被覆されたNb₃Al極細多心超電導線材を製造した。

実施例1と同様にサンプルの臨界温度、マトリックスの電気抵抗、磁界-臨界電流密度特性を測

定した結果、臨界温度は17.3 Kとやや低かったが、マトリックスの比抵抗は $1.1 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ と実施例1の場合より良好な値が得られた。本実施例の磁界-臨界電流密度特性は、第3図の2に示すように従来例の4と比較すると大巾に臨界電流密度は向上するが、実施例1の曲線1と比較すると17 T以上の高磁界側でやや低下する。この原因は、高温熱処理温度が1,400℃とやや低かったため、臨界温度ならびに臨界磁界が実施例1の場合より低下し、高磁界下での臨界電流密度をやや低下させたものと考えられるが、20 T以下の磁界では十分実用に耐える高電流密度を有し、安定化金属で被覆された電磁氣的安定性のよいNb₃Al極細多心超電導線材が得られた。

実施例3

Nb₃AlよりNbに富むNb-Al過飽和固溶体の複合多心線を製造するために、Al-5原子% Mg心材と複合単心線のNbマトリックスと

た。

実施例1、2と同様にサンプルの臨界温度、マトリックスの電気抵抗、磁界-臨界電流密度特性を測定した結果、臨界温度は17.8 Kで、マトリックスの比抵抗は $1.6 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ と実施例1と同様の性能が得られた。ただ本実施例の磁界-臨界電流密度特性は、第3図の3に示すように実施例1、2の場合と異なって低磁界域では低いが、14 T以上の高磁界域では従来法に比べて高く、20 T近傍の磁界でも臨界電流密度の低下が少ないことがわかる。このような磁界-臨界電流密度特性の相違は、Nb₃Al化合物の量、化学量論組成からのずれ、Nb₃Alの結晶粒度等が関係して生じているものである。いずれにしても、高磁界では十分実用に耐える高電流密度を有し、安定化金属で被覆された電磁氣的安定性のよいNb₃Al極細多心超電導線材が得られた。

実施例4

実施例3と同様な方法で、外径1.4 mmで、そ

の断面積比が実施例1と異なる線材構成とした。すなわち、直径5.5 mmのAl-5原子% Mg合金棒に外径11.0 mm内径6.0 mmのNb管を被せ、外径1.0 mmまで室温で伸線加工を行ない複合単心線を製造した。

次に実施例1と同様に、複合単心線331本を束ねてNb管に挿入、伸線加工し、外径0.2 mm、心材径約4 μmの複合多心線を製造した。次にこの複合多心線を1気圧のArガス雰囲気中で1,700℃に加熱、溶融された銀浴中に10分間浸漬し、約50 μm厚さの銀を被覆した後、室温まで急冷した。次に銀被覆された複合多心線を外径0.3 mmから外径0.2 mmになるまで常温で伸線加工した。これは複合多心線の心材がAl-15型の金属間化合物でなく、Nb-Al過飽和固溶体合金になっているため塑性加工が可能となったものである。その後、真空中で850℃×10 hの加熱を行なって、Nb-Al過飽和固溶体からNb₃Al金属間化合物を析出させ、銀被覆されたNb₃Al極細多心超電導線材を製造し

の外表面に厚さ50 μmの銀被覆を施したNb-Al過飽和固溶体を有する複合多心線を製造した。その時の心材寸法は約1 μmで、109,561本の心材本数が埋込まれたものである。次にこの素線を7本撚し、撚線間を隙間を無くするように平角ロール及び平角ダイスで成型し、5.0 mm巾で2.4 mm厚さの平角成型撚線とした。その後、真空中で850℃×10 hの加熱を行なって、Nb-Al過飽和固溶体からNb₃Al金属間化合物を析出させ、銀被覆されたNb₃Al極細多心超電導線材を製造した。第4図に本超電導線材の横断面の構造を模式的に示す。7本の素線を成型撚線したNb₃Al極細多心超電導線材5で、それぞれの素線は外表面に銀被覆6されたNbマトリックス8、Nb₃Al心材7を有する構造である。

次に、この線材よりサンプルを切り出し、液体He中で20 Tの外部磁界を与え、臨界電流特性を測定した。その結果を第5図に示す。1×10⁻⁴ Ωcmの抵抗発生時の電流値を臨界電流値と

すると、その値は240Aであった。また、本線材では銀被覆されているため電圧発生は比較的ゆるやかで、安定化材で被覆されていない従来法の線材に比べて電磁氣的安定性に優れた高磁界で大電流容量のNb₃Al極細多心超電導線材であることがわかった。

実施例5

第6図は本発明のNb₃Al系超電導線材の製造装置の主要な構成部を示す。多数本のAl合金心材とNbマトリックスよりなる複合多心長尺線15は、スプール14に巻付けられており、高温度に加熱、溶融された安定化金属溶融槽16と冷却槽17を通過させて、巻取り用スプール18で巻取られる。溶融金属被覆装置11は、真空排気系12及び不活性ガスのポンプ13により、溶融金属部の雰囲気19の圧力を調節できるようになっている。溶融槽16の加熱温度は、Nb₃Al系化合物の構造安定性と溶融した安定化金属とのぬれ性の点から選択されるが、少なくとも

1,200℃以上の温度が必要で、雰囲気19の圧力は安定化金属の種類と加熱温度の点から選択されるが、安定化金属の蒸発損失等の点から少なくとも0.1気圧以上の不活性ガス雰囲気が必要である。冷却槽17は、1,200℃以上の高温から700～800℃までの温度の間を急冷する目的でGa-In共晶合金浴や各種塩浴が用いられる。

〔発明の効果〕

本発明は、以上説明したように20T級の高磁界で高電流密度を有し、安定化材で被覆された極細多心構造を有するNb₃Al系超電導線材で構成されているので以下に記載されるような効果を奏する。

高磁界で高電流密度を有する超電導線材であることにより、従来4.2Kで超電導マグネットのみでは実現不可能な20T級の高磁界を、より小型の装置で経済的に発生できる。また、安定化材で被覆された極細多心構造の超電導線材であることにより、20T級の高磁界までをより短時間で、

かつ常電導転移させることなく安定して発生し得るので、液体Heの消費量の少ない経済的な装置とすることができる効果がある。

4. 図面の簡単な説明

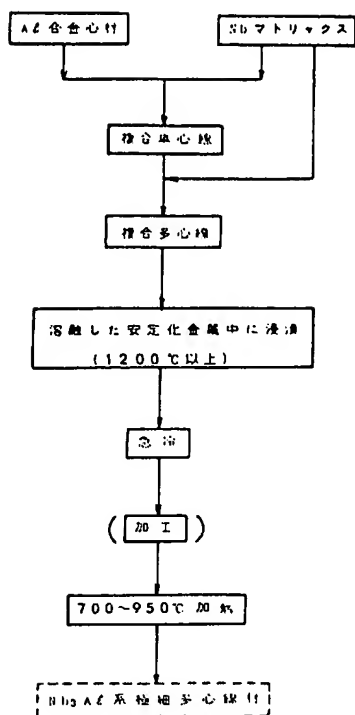
第1図は本発明の製造方法によるNb₃Al系極細多心線材の製造工程図、第2図は従来の製造方法によるNb₃Al系極細多心線材の製造工程図、第3図は本発明及び従来の製造方法によるNb₃Al系極細多心線材の4.2Kでの磁界-臨界電流密度特性図、第4図は本発明のNb₃Al系超電導線材の横断面図、第5図は本発明のNb₃Al系極細多心線材の電流-電圧特性図、第6図は本発明のNb₃Al系超電導線材の製造装置の概略図である。

- 1：実施例1の磁界-臨界電流密度特性、
- 2：実施例2の磁界-臨界電流密度特性、
- 3：実施例3の磁界-臨界電流密度特性、
- 4：従来例の磁界-臨界電流密度特性、
- 5：Nb₃Al極細多心超電導線材、
- 6：銀被覆、

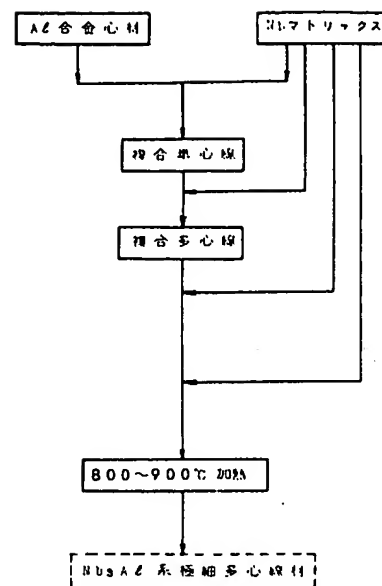
- 7：Nb₃Al心材、
- 8：Nbマトリックス、
- 11：溶融金属被覆装置、
- 12：真空排気系、
- 13：不活性ガスのポンプ、
- 14：スプール、
- 15：複合多心長尺線、
- 16：安定化金属溶融槽、
- 17：冷却槽、
- 18：スプール、
- 19：溶融金属部の雰囲気、

特許出願人 日立電線株式会社
株式会社日立製作所
科学技術庁金属材料技術研究所
代理人 弁理士 佐藤不二雄

第1図

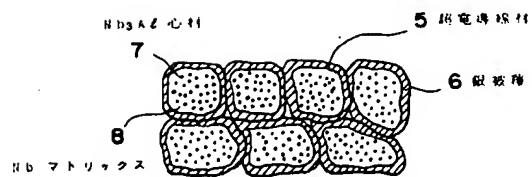
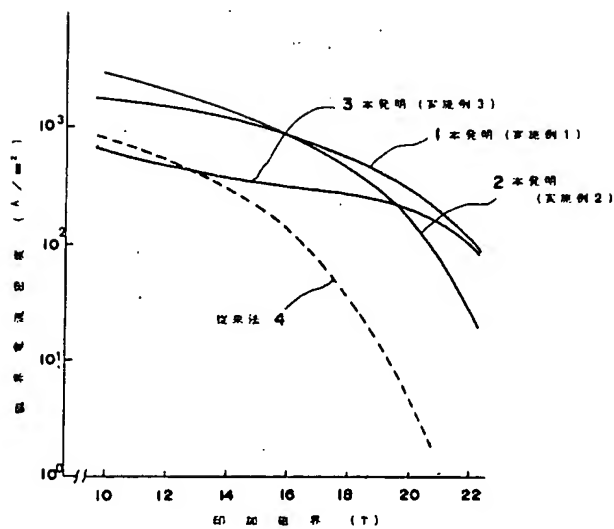


第2図

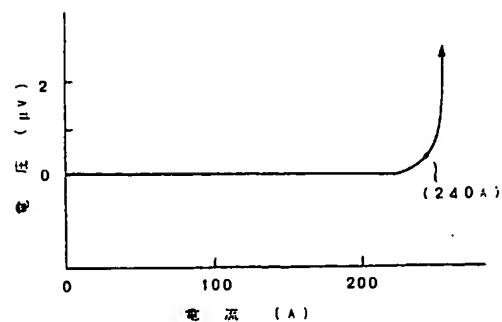


第4図

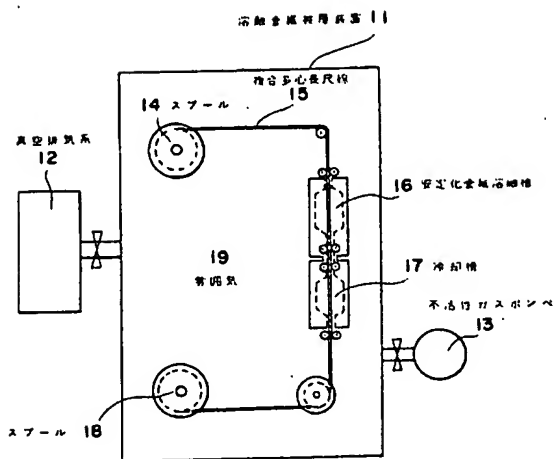
第3図



第5図



第 6 図



第 1 頁の続き

⑤Int. Cl.⁵

// C 22 C 27/02
C 23 C 2/38
H 01 B 12/10

識別記号

1 0 2 A

Z A A

庁内整理番号

7371-4K

8116-4K

8936-5G

⑥発 明 者 井 上

廉

茨城県つくば市千現 1-2-1 科学技術庁金属材料技術
研究所筑波支所内